Republic of Ecuador





CPE INEN 008 (1983) (Spanish): Código de práctica para silos cilíndricos de metal para almacenamiento de granos forrajeros

BLANK PAGE



INEN

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

CODIGO DE PRÁCTICA

PARA SILOS CILÍNDRICOS DE METAL PARA ALMACENAMIENTO DE GRANOS FORRAGEROS

Quito - Ecuador

Código de Práctica Ecuatoriano	CODIGO DE PRÁCTICA PARA SILOS CILÍNDRICOS DE METAL PARA ALMACENAMIENTO DE GRANOS FORRAGEROS.	CPE INEN 008

1. OBJETO

1.1 Este Código establece las especificaciones generales para silos cilíndricos destinados al almacenaje de productos agrícolas, en especial cereales utilizados como forraje.

2. ALCANCE

2.1 Este Código se aplica a silos metálicos de forma cilíndrica.

2.2 Este Código se aplica a silos de altura efectiva mayor a 3 m.

3. DEFINICIONES Y TERMINOLOGIA

3.1 Altura efectiva (h_e). Es la altura en metros desde el nivel del piso al tope superior del cilindro.

3.2 Altura utilizada (h_u). Altura máxima en metros del material almacenado en el silo.

3.3 Altura del cilindro (h_c). Altura en metros desde el cimiento al tope superior del silo.

3.4 Nivel de silaje. El nivel 0,90 h_e sobre el piso del silo (que es nivel de referencia para el cálculo de presiones) o el nivel 0,90 h_u sobre el piso del silo (que es nivel de referencia para el cálculo de capacidad del silo).

3.5 Profundidad de silaje (h_s). La distancia en metros bajo el nivel del silaje al punto de consideración.

3.6 Diámetro interior (d). Diámetro interior promedio del silo en metros.

3.7 Diámetro exterior (d_e). Diámetro exterior promedio del silo en metros.

3.8 Silo vertical. Estructura cilíndrica asentada sobre la base para conservación o almacenaje de productos agrícolas.

3.9 Ensillaje. Cereales o granos preservados por acidificación natural o/u artificial en condiciones anearóbicas.

3.10 Silo para almacenaje general. silo vertical para almacenaje de productos agrícolas con alto contenido de humedad.

3.11 Ensilaje de materiales altamente secos. (M.A.S.). Ensilaje constituido por granos secados deshidratados de acuerdo a especificaciones establecidas (ver Anexo B).

3.12 Materias secas (M.S.). Fracción seca del grano, esto es, aquella fracción que quedará seca después de que la humedad se ha extraído a 105°C durante 16 horas.

3.13 Contenido porcentual de humedad. Peso de humedad extraída a 105°C por 16 horas, dividido para el peso inicial de la muestra, multiplicado por 100.

3.14 Capacidad normal (C). Capacidad de materias secas del silo en toneladas, bajo condiciones normales, calculada de acuerdo a un método establecido (ver Anexo B).

3.15 Densidad (δ). Peso total (kg) de ensilaje por metro cúbico.

3.16 Densidad seca (δd). Peso (kg) de materia seca en el ensilaje, por metro cúbico, esto es:

$$\delta d = \frac{100 - \text{cantidad de humedad }\%}{100}$$

3.17 Fibra M.A.D. Porcentaje en peso de la fibra modificada por ácido detergente en la materia seca del grano o ensilaje.

3.18 Proteína cruda (P.C.). Porcentaje en peso de la proteína cruda en la materia seca del grano o ensilaje (ver nota 1).

4. SIMBOLOGIA

4.1 Los símbolos utilizados en este Código son:

S = Distancia entre anillos de refuerzo (m).
E = Módulo de young (N/m^2).
T = Espesor de la pared del silo metálico (m).
r = Radio exterior del silo o de los anillos de refuerzo (m).

NOT A 1 El porcentaje P.C. de un grano es aumentado entre el 4 y 5 % durante la fermentación en el ensilaje en la torre; la cantidad exacta depende del tipo de fermentación.

u = Número de Poisson (0,3 para acero).
I = Momento de inercia del anillo de refuerzo (m^4).
P = Depresurización permisible de la presión interior en el silo, bajo la presión atmosférica, utilizada para el cálculo de pandeo bajo succión interior.
f_{crit} = Tensión comprensiva axial que causaría inestabilidad por pandeo elástico del cilindro.
P_{crit} = Depresurización bajo la presión atmosférica de la presión interior del cilindro, que causaría inestabilidad por pandeo elástico de la pared del cilindro.

4.2 Otros símbolos han sido aclarados en el numeral 3.

5. DISPOSICIONES GENERALES

5.1 Dimensiones.

5.1.1 Siempre que se cumplan los requerimientos estructurales, la altura estará limitada por la necesidad de secar consistentemente a contenidos de humedad que eviten riesgo innecesario de formación de presiones de líquidos y de efluentes (ver Anexo C).

5.1.2 El diámetro del silo está limitado por la necesidad de asegurar que la velocidad de consolidación del contenido (en caso de forraje) pueda ser alcanzada por el equipo de alimentación disponible y mantenerse también la velocidad de descarga.

5.2 Cimientos, anclaje y localización.

5.2.1 *Cimientos.*

5.2.1.1 Los cimientos deben considerarse como parte integrante del diseño y construirse de acuerdo con las especificaciones relevantes del Código Ecuatoriano de la Construcción. El cimiento debe proveer contacto uniforme para garantizar también presión uniforme en todos los apoyos de la pared del silo. El drenaje de la presión por líquidos debe garantizarse de conformidad con el numeral 6.3.

Sea estructural o no, el concreto que tenga contacto con efluencias no debe tener menos de 150 mm de espesor vertical y debe hacerse de concreto denso por lo menos de 30 N/mm^2 de resistencia a la compresión, con un contenido mínimo de cemento de 330 kg/m^3. El cemento utilizado debe cumplir los requisitos de las Normas INEN respectivas, pero, en todo caso, deberá presentar resistencia al ataque de la efluencias. El tipo de éstas deberá determinarse en cada caso; una guía al respecto se da en el Anexo D.

5.2.2 *Anclaje.*

5.2.2.1 El cilindro del silo deberá ser anclado con seguridad al cimiento, cuando el cálculo establezca que el peso propio del silo es insuficiente para soportar los esfuerzos laterales del viento combinados con los interiores producidos por el ensilaje. Un método para el cálculo de la estabilidad del silo al vuelco se da en el Anexo F.

5.2.3 *Localización.*

5.2.3.1 El silo deberá estar localizado de tal modo que la pared del mismo esté por lo menos a 60 m de lugares habitados.

5.3 Esfuerzos.

5.3.1 Los esfuerzos que se suponen para el diseño del silo debe calcularse según 5.3.3 para silaje M.A.S. y según 5.3.4 para silos de propósito general.

5.3.2 Para el cálculo de los esfuerzos, los pesos unitarios de los materiales constructivos deben estar de acuerdo con las Normas INEN correspondientes.

5.3.3 *Silos para silaje* M.AS.

5.3.3.1 *Carga impuesta de cubierta.* La carga impuesta de cubierta deberá determinarse en cada caso de acuerdo a las prácticas industriales más aceptadas.

5.3.3.2 *Carga del viento.* La estructura, armazón de soporte, cimientos, aditamentos, como escaleras y ductos, junto con las conexiones apropiadas y fijaciones respectivas, debe diseñarse para resistir presiones del viento. Para el diseño contra viraje la velocidad V_s del viento utilizada para el diseño, debe basarse en cálculo para una vida útil de 30 años. El silo debe ser lo suficientemente rígido para resistir, sin exceder los límites permisibles, la distorsión debida a la variación de presión alrededor del silo, tomando para esto una velocidad del viento de 0,8 x V_s, basado en el cálculo de vida útil de 30 años.

Considerando juntamente con las fuerzas de levantamiento del silaje (calculado según 5.3.3.6 b) las fuerzas de levantamiento debidas al viento, cuando se requiere anclaje, deben calcularse por velocidad V_s, basada en una vida útil de 2 años, y de 30 años cuando se considera sólo el peso propio de la paredes del silo

El área equivalente del cilindro usada para calcular el esfuerzo del viento en un silo puede tomarse como:

$$(d_e + 0,6) \times (h_e + 0,3\ d_e)$$

5.3.3.3 *Presión del gas interior.* Cuando sea necesario, el silo deberá tener válvulas para prevenir la formación de presiones negativas o positivas en el interior. Las válvulas deben tener el tamaño adecuado para prever la apertura de los mismos a presiones 1,5 veces ma*yor* que el valor de la presión a la cual se abre normalmente.

La pared del silo debe estar dimensionada para soportar diferencias de presión causadas sobre las aberturas (válvulas, etc), cuando éstas se encuentran en zonas de alta o baja presión del viento.

5.3.3.4 *Cargas causadas por maquinaria.* Para el diseño del silo se debe tomar en cuenta los esfuerzos estáticos *y* dinámicos que imponen a la estructura la maquinaria de alimentación y la descarga. Se debe prestar atención a las condiciones de alimentación especificadas aquí en el numeral 5.3.3.6.b.

5.3.3.5 *Densidad de silaje.* La densidad seca del silaje de madurez promedio a cualquier contenido de humedad (siempre y cuando este contenido no sea tan alto que alcance los rangos de saturación de 1 000 a 1 100 kg/m^3), debe suponerse para los efectos del diseño en:

$$\delta d = (140 + 14{,}4\ h_s)\ kg/m^3$$

y la densidad relativa:

$$\frac{100}{100 - \text{contenido de humedad}\ (\%)}(140 + 14{,}4\ h_s)\ kg/m^3$$

5.3.3.6 *Presiones causadas por el silaje.* Las presiones del silaje sobre la estructura son:

a) Presiones laterales o sea la suma de la presiones debidas a las masas fibrosas *y* al fluido que efluye de ella.

b) Fricción vertical entre la masa del silaje depositado o del silaje en re-expansión y la pared del silo.

c) Presión del silaje sobre el piso y los cimientos.

5.3.3.6 a. *Presión lateral.* Los silos verticales para M.A.S. para uso solo de acuerdo al Apéndice C, deben diseñarse para resistir la presión lateral relativa a nivel de silaje, como sigue:

Para el 10% de h_e sobre nivel de silaje, y para 3 metros debajo, la presión lateral usada para el diseño debe ser 9,8 kN/m^2.

Para el resto del silo, la presión lateral debe ser:

1) $9{,}8 + (9{,}8 - \frac{29{,}5}{d})\ (h_s - 3)\ kN/m^2$ para silos en los cuales no existe alivio intencional de la presión del fluido.

2) $9{,}8+(0{,}75(9{,}8-\frac{29{,}5}{d})\,(h_s-3)\ kN/m^2$, para silos que permiten alivio de la presión del fluido (ver 6.3.1).

En las fórmulas de arriba, debe tomarse d = 5m, para silos de diámetro igual o menor a 5 metros.

5.3.3.6 b. *Cargas de fricción vertical y carga sobre el piso.*

La carga de fricción vertical usada para el diseño es la misma para silos de propósito general y para silos M.A.S. Las siguientes distinciones deben hacerse para silos sin almacenaje en la parte superior y sin almacenaje en el fondo:

1. Para silos con almacenaje en la parte superior, la carga de fricción vertical debe suponerse como linealmente creciente a razón de 1,05 kN/m^2 , por cada metro de profundidad de silaje, con un máximo valor de 2,45. d(k N/m^2), obtenido a una profundidad h_s) < 2,33 d.

   La carga de fricción vertical hacia abajo (V_{td}) en la pared puede calcularse de:

   V_{td} = 0,525 h_s^2 (kN) por cada metro de circunferencia, donde h_s < 2,33d.

   V_{td} = (2,45 dh_s - 2,86 d^2) (kN) por cada metro de circunferencia, donde h_s > 2,33 d.

La pared debe diseñarse para soportar un mínimo de carga hacia abajo de 5 kN/m^2 .

   En los silos sin almacenaje superior, la carga máxima hacia arriba debe suponerse:

   para h_s < 2,33 d; V_{tu} = 0,41 h_s d (kN) por metro de circunferencia;

   para h_s > 2,33 d; V_{tu} = 0,96 d^2 (kN) por metro de circunferencia.

2. En silos sin almacenaje en la parte inferior, para la pared desde el fundamento hasta un nivel 0,25 d sobre la plataforma inferior de descarga, la carga de fricción vertical (V_{td}) debe suponerse igual a todo el peso del material ensilado, a una densidad media de 900 kg/m^3 ;

$$V_{td} = 2{,}20\ h_s\ .d\ (KN/m)$$

Para el silo sobre 0,6.d desde la plataforma inferior de descarga, la carga de fricción vertical debe calcularse de acuerdo a 5.3.3.6 b1. Para niveles entre 0,25 y 0,6 d, V_{td} debe obtenerse por interpolación lineal. Debe determinarse, además, exactamente, las cargas ejercidas por el tipo de descargador utilizado, y deben tomarse en cuenta para el diseño del silo.

5.3.3.6 *Cargas en el fondo* y *en los cimientos.*

La carga máxima de silaje soportada por los cimientos, debida a esfuerzos del piso y paredes, debe tomarse como 6,2 h_e d^2 (kN).

Para distribución uniforme del silaje, la presión en el piso del silo debe tomarse como 7,9 h_e (kN/m^2). Deben diseñarse compuertas en el piso para soportar presiones locales tres veces mayores a la carga distribuida.

5.3.3.7 Adicionalmente, deberían tomarse en cuenta también las tensiones producidas por variación de temperatura del silaje. Un método para comprobación de las tensiones térmicas consta en el Anexo G.

5.3.4 *Silos de propósito general.*

5.3.4.1 La carga debe conformar 10 expuesto en 5.3.3, excepto que la presión lateral y la carga sobre el piso y cimiento debe calcularse de acuerdo a 5.3.4.2 y 5.3.4.3, respectivamente.

5.3.4.2 *Presión lateral.* Cuando lo expuesto en el Apéndice B no se aplica al caso, el silo debe diseñarse para resistir la máxima presión del fluido que se presente cuando se ensila cualquier producto de alto contenido de humedad. El silo debe soportar una presión lateral del fluido de 9,8 kN/m^2, desde el tope superior hasta un metro bajo el nivel de silaje, 11,0. h_s (kN/m^2), en puntos inferiores, sin escapes de efluencias, excepto a través de drenajes previstos y sin exceder los esfuerzos permisibles por la estructura.

5.3.4.3 *Carga en el piso* y *cimientos.* La carga máxima de silaje soportada por los cimientos, debido a cargas en el piso y paredes, se tomará en 7.7 h_e d^2 (kN/m^2). Para distribución uniforme del silaje, la presión en el piso del silo debe tomarse como 9,9 h_e (kN/m^2). Los compuestos en el piso debe diseñarse para soportar presiones locales tres veces superiores a las cargas distribuidas.

5.4 Diseño y materiales.

5.4.1 La estructura debe diseñarse para soportar su propio peso y resistir las cargas del producto almacenado y del viento, especificadas en el numeral 5.3. Se debe dar consideración especial a las áreas en las cuales hay concentración de esfuerzos, tales como en las puertas, compuertas y en lugares en los cuales se acopla la maquinaria. Los componentes y materiales para la construcción deben cumplir con las Normas INEN relevantes vigentes, sujetándose a lo que se establece en los numerales siguientes. No debe utilizarse ningún tipo de recubrimiento o pintura que tenga efectos tóxicos o deteriorantes sobre humanos o animales, en ninguna de las superficies en contacto con el producto ensilado.

5.4.2 *Paredes del silo*

5.4.2.1 Esfuerzo de compresión en las paredes del silo. La máxima compresión vertical en las paredes del silo en N/m^2 no debe exceder:

$$\frac{f_{crit}}{1{,}7}, \quad \text{donde} \quad f_{crit} = K_1 \frac{E_t}{r},$$

para la carga muerta y la carga del silaje. Hasta en 25% de incremento en el esfuerzo permisible es tolerable para la carga del viento. Para determinación de k_1 ver anexo E.

5.4.2.2 *Paredes bajo succión interna.* Para prevenir el pandeo del silo debido a la presión mínima interior bajo la presión atmosférica, la rigidez de la pared debe ser tal que:

$$p \leq \frac{p_{crit}}{3}, \quad \text{donde} \quad p_{crit} = K_2 E \left(\frac{t}{r}\right)^3$$

Para determinación de P_{crit} ver anexo E.

5.4.2.3 *Esfuerzo de tracción de la chapa.* Las paredes del silo deben comprobarse también para tracción; un método se da en el anexo H.

5.4.2.4 *Comprobación de los tornillos.* Los tornillos usados para armar el cilindro del silo, se comprobarán para cortadura, de acuerdo al anexo I.

6. CONSTRUCCION

6.1 Todas las aberturas, así como los sitios de carga y descarga, escape de fuego y otros lugares que requieran inspección regular y mantenimiento, deben estar localizados cerca de la plataforma de trabajo, conforme a la exposición a que se hallen sometidos; los materiales y componentes deben ser resistentes o estar protegidos contra la acción de los ácidos de silaje (ver anexo D) y contra la acción corrosiva atmosférica.

Las paredes, puertas y aberturas de los silos construidos para silaje M.A.S. deben ser herméticos para una presión de fluido igual a la que fuese menor de las dos siguientes:

- la presión de diseño lateral del silo.

- 19,6 kN

El techo del silo deberá ser impermeable, si el método de descarga lo requiere; debe ser, además, hermético a los gases, pero asegurado contra diferencias marcadas de presión.

6.2 Exactitud dimensional. Los componentes del silo deben armarse dentro de las tolerancias especificadas por el fabricante, de manera que se eviten concentraciones indeseables de tensiones superiores a los límites de diseño, y permitan un funcionamiento efectivo de la maquinaria relacionada.

6.2.1 La tolerancia combinada de diámetro y verticalidad del silo deberá estar comprendida entre dos cilindros de diámetros 1,01 d y 0,99 d. El diámetro referencia (d) del silo se determinará a una altura de 1,5 m sobre el piso.

6.3 Alivio de presión de fluido.

6.3.1 Debe existir un sistema interno de drenaje perimetral que asegure que exista alivio de las presiones del fluido y que se evita la acumulación del efluente contra la superficie interior de la unión del piso con la pared del silo. El sistema debe evitar, además, la entra o salida de gases al silo. Los dispositivos deben posibilitar la evacuación del efluente del silo, sin que penetre a los cimientos o bajo el silo.

6.3.2 En los silos diseñados según 4.1.6.1 (2), el fluido debe evacuarse en uniones abiertas, o por la provisión de válvulas 'espaciadas a 500 mm máximo.

6.4 Escapes de fuego.

6.4.1 A menos que se disponga otra cosa de parte de las autoridades de bomberos, se deberá proveer el silo con una abertura cada 1,5 m en una generatriz del cilindro exterior, empezando a 3 m de la base del silo, máximo.

Este tipo de aberturas deben permitir el ingreso de objetos de 20 mm de diámetro, por lo menos; estar colocados hasta la cercanía de la tolva, pero no en ella.

6.5 Equipo de acceso.

6.5.1 El equipo de acceso, incluyendo escalerillas fijas y plataformas de trabajo, debe diseñarse según se especifica a continuación:

1. **Escalerillas fijas**. Excepto las que van en la tolva, deben cumplir con los requisitos de las Normas INEN, y deben tener todas sus partes sometidas a zincado por inmersión según la Norma INEN 672.

    a) Deben ser fabricadas de perfiles adecuados, de un espesor no menor a 4 mm, de modo que al adosarse al silo, soporten con seguridad pesos de 100 N sin sobreesfuerzo o deflexión.

b) Los peldaños no deben tener menos de 380 mm de longitud libre, no deben estar espaciados más de 30 cm, entre centros, ni a menos de 150 mm de la pared del silo.

c) Donde se usen pernos de calidad (10.9) según norma INEN 1166 , el diámetro de los mismos puede reducirse a 10 mm.

2. Tecles elevadores. Deben cumplir con los requisitos de seguridad.

3. Plataformas de trabajo. No deben tener superficies resbalosas y deben ser de tamaño adecuado para permitir trabajar a dos operarios, uno junto al otro.

El perímetro de la plataforma debe estar resguardado por un pasamano a una altura de 1 m con un travesaño intermedio a 0,5 m desde el nivel de la plataforma.

4. La parte exterior del peldaño más bajo en una escalerilla permanente, no debe estar a menos de 3 m sobre la base de la estructura al momento de la instalación. Cualquier escalera incorporada bajo esa altura debe ser fácilmente retirable. Los aros de seguridad deben comenzar a una altura no mayor a 1 m sobre el escalón más bajo de la escalerilla permanente. La distancia de los aros a los centros de los escalones puede reducirse a 660 mm, siempre y cuando el acceso no sea afectado.

5. Se debe prever que las tolvas que sirven como medios de acceso, puedan ser adecuadamente ventiladas.

6. Deben preverse sitios para fijar cualquier equipo portátil de elevación a las plataformas de trabajo, para servicio de inspección del exterior e interior del silo.

7. TABLEROS Y ROTULOS

7.1 Deben colocarse tableros de material durable y dimensiones normalizadas (ver norma INEN), no menores a 300 x 200 mm, sujetos fijamente a las paredes del silo, a una altura de uno o dos metros. Adicionalmente, deben colocarse rótulos advirtiendo peligro en las entradas del silo. Los rótulos deben contener la siguiente información:

1. Advertencias sobre el peligro de CO_2 y de óxidos nitrogenados que puedan originarse en el silo, y las recomendaciones para el personal: usar señales en conformidad con INEN 439.

2. Instrucciones del modo más apropiado de llenado del silo (letras blancas sobre fondo verde).

3. Nombre del fabricante, fecha y número de serie (placa metálica).

8. MANUAL DE SERVICIO

8.1 El fabricante debe proporcionar un manual que dé instrucción sobre el funcionamiento del silo y su mantenimiento. El anexo A establece los temas que debería cubrir el Manual de Servicio.

9. MEDIDAS DE SEGURIDAD

9.1 Prevención de incendios y explosiones

9.1.1 *Causas de peligro.*

9.1.1.1 Los silos para almacenar granos y otros productos agrícolas pueden ser susceptibles a incendios y explosiones por diversas causas; la mayor de ellas es la presencia de polvos que alcancen condiciones de explosividad.

Los factores que influyen en la explosividad de los polvos producidos por el silaje, son:

- cantidad de polvo (concentración),
- distribución en el silo (o sus proximidades),
- tamaño de las partículas,
- contenido de humedad,
- concentración de oxígeno,
- presencia de una fuente de ignición.

9.1.2 *Control de fuentes de ignición.*

9.1.2.1 El último factor mencionado, esto es, la presencia de una fuente de ignición, debe controlarse para evitar incendios y explosiones.

Entre las medidas a tomarse están:

a) Prohibición de fumar y haber llamas abiertas, convenientemente señalizada (ver INEN 439).

b) Control de electricidad estática que pueda dar lugar a chispas ignicibas (ver INEN 746).

c) El sistema eléctrico debe instalarse en conformidad con normas, en especial con lo establecido en el Código de Práctica sobre protección de edificios contra incendios, Sección VIII.

d) Las instalaciones aledañas de líquidos y gases combustibles deberán ejecutarse profesionalmente, de acuerdo a normas, en especial según se establece en la Norma INEN 735 y en la *Guía de Práctica para instalaciones pequeñas de combustibles líquidos.*

9.1.3 *Control de polvos.*

9.1.3.1 Los factores que atañen al polvo deben controlarse de acuerdo a la Norma INEN 715 en todo lo que sea aplicable.

En todo caso, es de suma importancia observar:

a) cada silo, incluyendo los espacios intermedios, deberá estar provisto con adecuada aspiración positiva, y deberá ventilarse hacia el exterior;

b) al ventilar hacia afuera, el ventilador debe ser lo suficientemente grande para manejar el aire desplazado por el silaje, de acuerdo a la velocidad de entrada más elevada posible con el equipo de carga que se disponga. Ningún ventiladero debería ser de diámetro inferior a 30 cm;

c) siempre que sea practicable, los ventiladores deberán tener chimeneas verticales; de no ser esto posible, los ventiladeros laterales deben protegerse para que no sea posible el ingreso de viento del exterior al silo;

d) la carga y descarga del silo debe efectuarse de tal modo que el silaje no golpee las paredes, pudiendo producir polvo, aumentar su concentración, o provocar chispas por acumulación de corriente estática;

e) Como precaución adicional, deberá eliminarse por barrido o aspiración, el polvo que se acumule en tolvas y otros equipos.

9.1.4 *Protección contra rayos.*

9.1.4.1 Otra de las causas de incendio puede ser la caída de rayos en silos que contienen silaje potencialmente combustible. Deberán instalarse sistemas pararrayos, de acuerdo a las especificaciones pertinentes.

9.1.5 *Reparaciones y mantenimiento.*

9.1.5.1 Durante las operaciones de reparación y mantenimiento de los silos y de los equipos involucrados en el almacenaje, deberá tomarse toda precaución tendiente a reducir el riesgo de incendio o explosión. Las operaciones de soldadura se efectuarán observando lo establecido en el Código de Practica para Seguridad en soldadura y corte térmico.

9.1.6 *Calentamiento espontáneo.*

9.1.6.1 Los granos y otros productos agrícolas ensilados se oxidan exotérmicamente, elevando así la temperatura de la masa de ensilaje, lo cual puede llegar en ciertos casos a variaciones de temperatura entre 50 y 70°C. Si las condiciones de humedad y temperatura son adecuadas, algunos granos arden con llama espontáneamente, o alcanzan por lo menos un estado de

incandescencia o fuego latente, que puede producir llama abierta e incendios de proporciones, de presentarse condiciones favorables.

Donde se prevean tales condiciones, se deberá instalar sistemas de insuflación de aire frío, lo cual permite almacenar hasta con humedades del orden del 20%. Se requiere control de la temperatura en las diversas zonas del silo, mediante sondas termométricas conectadas a alarmas para prevención de incendios.

9.1.7 *Protección contra incendios.*

9.1.7.1 Las instalaciones de los silos y las aledañas deberán estar construidas de materiales incombustibles; deberán proveerse puertas cortafuego apropiadas (ver norma INEN 754) para formar zonas estancas de incendio.

9.1.7.2 De acuerdo al tamaño de la instalación, se proveerá de extintores portátiles de fuego clase A según la norma INEN 801, en número suficiente.

De tratarse de instalaciones mayores, la autoridad competente establecerá la necesidad de implementar sistemas automáticos, hidrantes y/o mangueras contra incendios.

9.1.7.3 De presentarse un fuego en un silo, no se debe intentar el vaciado del mismo, hasta que se tenga la total certeza de que se ha extinguido el fuego, ya que puede provocarse una explosión de polvo al caer el grano o producto ensilado, si éste está incandescente o ardiendo.

10. SILOS MULTIPLES

10.1 Baterías de silos cilíndricos.

10.1.1 La disposición de varios silos cilíndricos contiguos se conoce como batería de silos. Los silos individuales se construirán como se determina en este Código, pudiendo estar unidos entre sí en la batería lateralmente mediante refuerzos riostras o en la parte superior por la plataforma de los equipos de carga, así como en la parte inferior con los mecanismos de descarga.

10.1.2 Para el cálculo de las baterías de cilindros, deberá tomarse en cuenta, además, los esfuerzos provenientes de los silos próximos, cuando el llenado de los mismos es diferente. Este cálculo sobrepasa los límites de este Código, por lo cual deberá recurrirse a la literatura mencionada en el Apéndice Z.2.

10.2 Silos múltiples.

10.2.1 Los silos múltiples están constituidos por elementos cilíndricos, cuadrados, hexagonales u octogonales pegados uno junto al otro, en los cuales las paredes intermedias son comunes a dos o más silos, razón por la cual se habla también de celdas múltiples. El estudio de dichas instalaciones deberá consultarse en la literatura señalada en el Apéndice Z.2.

ANEXO A

MANUAL DE SERVICIO

A.1 El Manual de servicio suministrado por el fabricante debe contener información sobre los siguientes aspectos:

1. Información del funcionamiento, destacando lo siguiente:

a) Contenido de humedad.
b) Control de pérdidas.
c) Velocidad del llenado y del vaciado.
d) Sellado del silo.
e) Método de comprobación de humedad.
f) Uso correcto de la maquinaria de carga y descarga.

A.2 Precaución en el uso del silo.

A.3 Advertencias de los peligros al usar el silo.

A.4 Inspección del silo, sus componentes y equipo; periodicidad de las inspecciones.

A.5 Mantenimiento preventivo y lista de problemas y reparaciones usuales.

A.6 Límites para posibles modificaciones del silo.

A.7 Dispositivos disponibles destinados al mantenimiento y servicio del silo y los demás equipos

ANEXO B

CAPACIDAD NORMALIZADA DEL SILO

B.1 La capacidad se calculará usando la fórmula:

$$C = \frac{\pi d^2}{4}(0{,}12\ h_u + 0{,}0058\ h_u{}^2)\ (\text{toneladas})$$

Este cálculo se basa en el llenado con silaje M.A.S. de acuerdo con la Tabla 1 del Anexo C.

La capacidad real dependerá de la madurez del material ensilado. Para pasto verde, el silo puede cargar hasta el 25 % más que la capacidad normalizada, mientras que para silaje maduro será de un 20 % menos.

ANEXO C

GUÍA PARA EL USO DE SILOS DE FORRAJE

C.1 Humedad recomendada. Se recomienda que para silaje M.A.S. el contenido de humedad esté de acuerdo a las Tablas 1, 2 y 3. El tonelaje de materia seca en cada caja de silaje se da también para sU os de 5, 6 y 7 metros de diámetro interior. Para cereal entero, maduro y para silaje de maíz, se aplican los contenidos de humedad de la Tabla 3.

El ensilaje de productos con humedad superior a la indicada debe evitarse debido a los posibles excesos de presiones que luego pueden causar daños estructurales.

Bajo los límites de humedad indicados, se corre el riesgo de sobrecalentamiento y, en casos extremos, de fuego.

TABLA 1

HUMEDAD RECOMENDADA PARA MADUREZ MEDIA
(P.C 12% ; fibra M.A.S. - 28%)

RANGO DE HUMEDAD *(%)*	**MATERIA SECA (toneladas)**			**PROFUNDIDAD h_s m**
	SILO DE 5 m	**SILO DE 6 m**	**SILO DE 7 m**	
	0	0	0	máximo 10 % de h_u
65 - 75	15	20	30	0-5
60 - 70	20	30	40	5 - 10
55 - 65	25	40	50	10 - 15
50 - 60	35	45	65	15 - 20
45 - 55	40	55	75	20- 25

TABLA 2.

HUMEDAD RECOMENDADA PARA PRODUCTOS FRESCOS

(P.C. 18% - fibra M.A.S. - 24%)

RANGO DE HUMEDAD *(%)*	**MATERIA SECA (toneladas)**			**PROFUNDIDAD h_s m**
	SILO DE 5 m	**SILO DE 6 m**	**SILO DE 7 m**	
	0	0	0	máximo 10 % de h_u
65 - 75	10	10	15	0 - 2,5
60 - 70	10	15	20	2,5 - 5
55 - 65	25	40	50	5 - 10
50 - 60	35	50	65	10 - 15
45 - 55	40	55	80	15 - 20
40 - 50	45	70	95	20 - 25

TABLA 3

HUMEDAD RECOMENDADA PARA SILAJ E MADURO

(P.C 8% ; fibra M.A.S. -32%)

RANGO DE HUMEDAD *(%)*	**MATERIA SECA (toneladas)**			**PROFUNDIDAS h_s m**
	SILO DE 5 m	**SILO DE 6 m**	**SILO DE 7 m**	
	0	0	0	máximo 10 % de hu
70 - 75	10	20	25	0-5
65 - 75	20	25	40	5 - 10
60 - 70	20	30	45	10 - 15
55 - 65	25	35	50	15 - 20
50 - 60	30	45	60	20 - 25

C.2 Control de pérdidas.

C.2.1 Las pérdidas de nutriente se reducen siempre que:

a) el silaje es consolidado rápidamente durante el llenado, preferiblemente a 500 kg/m^3 en tres días (mínimo 400 kg/m^3), para reducir el riesgo de sobrecalentamiento,

b) las superficies del silaje se cierran, para reducir la entrada de oxígeno,

c) la descarga es lo suficientemente rápida, para evitar que la superficie del silaje se recaliente.

C.2.2 *Velocidad de llenado.* La velocidad de consolidación del silaje depende esencialmente del promedio de toneladas ensiladas por día, de su contenido de humedad y del diámetro del silo.

Para poder cumplir con C.2.1 a), deben alcanzarse los valores de llenado de la Tabla 4. Bajo condiciones normales, estas tasas de llenado son las mínimas requeridas para obtener una densidad de 400 kg/m^3 de ensilaje. La Tabla 4 se basa en las siguientes suposiciones:

a) la velocidad de llenado es mantenida durante 8h diarias, en buenas condiciones (esto es, no hay demoras ni interrupciones por mal tiempo u otras causas),

b) el promedio de la velocidad de llenado para tres días, bajo condiciones regulares (esto es, considerando demoras e interrupciones), no es inferior a 0,7 veces el valor obtenido para buenas condiciones.

Para obtener la densidad preferible de 500 kg/m^3, se requieren velocidades de llenado aproximadamente 50 % más elevadas que las consignadas en la Tabla 4. Si se mantienen esas velocidades de llenado, el peligro de sobrecalentamiento se minimiza.

En los silos provistos de descargadores de chimenea, el valor más alto de la velocidad de llenado, para dar 500 kg/m^3 en tres días, es esencial para evitar sobrecalentamientos secundarios.

La elección del diámetro del silo debe hacerse conjuntamente con la elección de la maquinaria, de modo que la velocidad de llenado requerida pueda ser alcanzada, para valores recomendados de humedad en el fondo del silo.

TABLA 4. Relación entre velocidad de llenado y diámetro del silo

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			Velocidad mínima de llenado para alcanzar densidad de 400kg/m en 3 días (toneladas de materia seca por hora).		
forraje fresco	**forraje promedio**	**forraje maduro**	**Diámetro del silo (m)**		
			5 m	**6 m**	**7 m**
65	70	75	0,6	0,9	1,2
60	65	70	1,0	1,5	2,0
55	60	65	1,6	2,2	3,1
50	55	60	2,4	3,4	4,6
45	50	55	3,4	4,9	6,6
40	45	50	5,0	7,1	9,7

Cuando las condiciones permiten un día más largo de trabajo, y hay menos demoras e interrupciones, la velocidad de llenado puede reducirse proporcionalmente.

C.2.3 *Control de la atmósfera en la masa de silaje.* Tanto las pérdidas de nutriente como el sobrecalentamiento ocurren cuando penetra oxígeno en la masa de silaje. El cerrar el silaje, para limitar la cantidad de oxígeno que penetra, es particularmente importante durante el llenado, cuando ocurren la mayoría de las pérdidas y el calentamiento.

Donde sea posible, la superficie del silaje debe cubrirse con una hoja impermeable, cuando el llenado no esté efectuándose, durante el período de almacenamiento y durante interrupciones en la descarga. Antes de entrar al silo para colocar o retirar esta hoja impermeable, el operador debe cerciorarse de que el silo esté bien ventilado, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

En los silos en los cuales el silaje es removido de una compuerta en la base, se debe tener mayor cuidado para limitar la cantidad de oxígeno que entra a la masa del silaje. De lo contrario, la compuerta debe mantenerse totalmente cerrada. Se debe tener especial cuidado para evitar que se abran simultáneamente compuertas en el fondo y en el tope superior del silo, toda vez que esto permitirá un flujo de aire a través del silaje flojo por la descarga, con riesgo de sobrecalentamiento y, en casos extremos, riesgo de incendio y explosión.

C.2.4 *Velocidad de descarga.* Durante el vaciado de un silo con descarga en la parte superior, el sobrecalentamiento secundario es improbable, siempre y cuando la velocidad de descarga exceda a $20 \frac{\text{kg M.S.}}{\text{m}^2 \text{ dia}}$ El diámetro del silo no debe exceder aquel valor al que esta velocidad puede ser alcanzada para el valor mínimo de alimentación diaria. Las velocidades mínimas de descarga para silos de 5, 6 y 7 m de diámetro se dan en la Tabla 5.

TABLA 5. Velocidades mínimas de descarga

Diámetro del silo (m)		
5 kg M.S. día 390	6 kg M.S. día 570	7 kg M.S. día 770

C.3 Precauciones en el uso de silos para silaje M.A.D.

C.3.1 El silo vertical es más eficiente al usarse para conservar silaje M.A.D. con los contenidos de humedad recomendados en las Tablas 1, 2 y 3. El silaje correctamente húmedo se consolidará en el silo a densidad aproximada de 900 kg/m^3, asegurando pérdidas mínimas, capacidad máxima y la inexistencia de presión líquido lateral o de efluentes. Las siguientes precauciones deben observarse durante la operación del silo:

a) Se debe hacer todo lo posible para llenar con silaje a la humedad recomendada en las Tablas 1, 2 y 3.

b) Durante el llenado, el valor de contenido de humedad debe controlarse, usando el método recomendado por el fabricante o por el proveedor.

c) Si el silo se ha llenado accidentalmente con grano más húmedo que lo recomendado, el efluente debe empezar a chorrear de las juntas; en caso extremo, se puede presentar un flujo de mayores proporciones a través de las juntas en un área superior y el silo puede resultar sometido a sobretensiones. De presentarse este fenómeno, el llenado debe interrumpirse de inmediato. El silaje almacenado al nivel del flujo indebido, debe descargarse en primer lugar, antes de recargar el silo nuevamente. Cuando un silo presenta fugas de efluentes, debe inspeccionarse por corrosión, y debe repararse donde amerite el daño, antes de ser recargado.

d) El silaje debe distribuirse uniformemente alrededor del eje central de silo.

ANEXO D

COMPOSICION DEL EFLUENTE

D.1 La acidez del efluente varía de pH 3,7 a 5,5

Los constituyentes más agresivos son:

- ácido láctico - 5 %
- ácido acético - *1,5%*
- ácido butírico - 0,5 %
- sulfato (SO_3) - 100 partes por 100 000.

ANEXO E

PAREDES DEL SILO

E.1 Esfuerzos de compresión. Debe darse particular atención al valor de K_1 en la expresión.

$$f_{crot} = K_1 \frac{E_t}{r}$$

que es particularmente sensible a las imperfecciones en la pared del silo bajo condiciones de servicio. No se recomienda considerar la presión lateral para determinar K_1.

E.2 Pandeo por succión interna. El valor de P_{crit} está entre dos valores, uno máximo y otro mínimo. Se aplica un valor máximo para secciones cilíndricas cuyas paredes puedan desarrollar fuerzas de tensión elásticamente, junto con el techo y fondo del cilindro constreñidos a una forma circular,

El valor mínimo en $\frac{N}{m^2}$ que se basa solamente en la rigidez de los anillos de rigidación y en las paredes del silo, se obtiene de:

$$P_{crit} = \frac{E_t^{\ 3}}{4r^3(1-u^2)} + \frac{3\,El}{r^3 S}$$

ANEXO F

COMPROBACION DE LA ESTABILIDAD AL VUELCO

F.1 La estabilidad al vuelco se puede comprobar mediante el cálculo del momento de vuelco y del momento estabilizante, para obtener la relación entre ambos como coeficiente de estabilidad, que no debe ser inferior a 2:

$$M_u = F_r\left(\frac{h_c}{2} + h_f\right) \text{momento de vuelco}$$

$$M_e = (P_s + P_f)\frac{d_e}{2} \text{ momento estabilizante}$$

$$e = \frac{M_e}{M_v} \geq 2 \text{ coeficiente de estabilidad}$$

Donde:

M_v = momento de vuelco,
M_e = momento estabilizante,
F_v = fuerza total del viento aplicada en el centro de gravedad del cilindro,
h_c = altura del cilindro,
h_f = altura del fundamento (cimiento),
P_s = peso del silo,
P_f = peso del fundamento,
e = coeficiente de estabilidad.

ANEXO G

COMPROBACION DE LAS TENSIONES TÉRMICAS

G.1 Las variaciones de temperatura debidas a factores ambientales o al calor eventualmente producido por el silaje, dan como resultado dilataciones y contracciones de las paredes cilíndricas. Si después de una dilatación de las paredes del silo, el producto almacenado impide la contracción de la chapa, al bajar la temperatura aparece una tensión. La presión interna adicional provocada por variaciones térmicas se puede determinar por:

$$P_t = \frac{\alpha \,.\, E_e \,.\, t}{\frac{d_e E_e}{2 \,.\, T\, E_s} + 1\mu e}$$

Donde:

P_t = presión debida a la temperatura,

α = coeficiente de dilatación lineal de la pared del silo,

E_e = módulo de elasticidad del ensilaje comprimido,

t = variación de temperaturas en °C,

d_e = diámetro exterior del silo,

T = espesor de pared del silo,

E_s = módulo de elasticidad del material de las paredes del silo,

μe = constantes de tensión transversal de Poisson para cereales comprimidos.

G.2 Para granos ensilados, puede tomarse el valor E_e = 0,7. 10^3 $kglcm^2$ y la constante μe = 0,4.

ANEXO H

COMPROBACION DE LA CHAPA SOMETIDA A TRACCION

H.1 Para comprobar la resistencia de la chapa sometida a esfuerzos de tracción se puede aplicar la fórmula:

$$\sigma_t = \frac{p \, . \, d_e \, . \, 0{,}9}{2 \, . \, S_u}$$

donde:

σ_t = esfuerzo de tracción admisible para la chapa, equivalente al de rotura del material dividido para 1,57 (factor de seguridad mínimo),
p = presión lateral,
d_e = diámetro exterior del silo,
S_u = sección útil de la chapa, equivalente a:

$$S_u = (w - D \, . \, n) \, T$$

Con:

W = ancho de la chapa en cada anillo seccional del silo,
D = diámetro de los agujeros para tornillos o remaches,
n = número de tornillos en el ancho W,
T = espesor de la chapa.

ANEXO I

COMPROBACION DE LOS TORNILLOS SOMETIDOS A CORTADURA

I.1 Para comprobar la resistencia de las uniones atornilladas de las paredes del cilindro, sobre las que se ejerzan esfuerzos de cortadura, se puede aplicar el cálculo siguiente:

$$\tau_r = \frac{p \,.\, d_e \,.\, 0{,}9}{2 \,.\, S \,.\, n_T} = \frac{2 \,.\, p \,.\, d_e \,.\, 0{,}9}{\pi \,.\, d^2{}_n \,.\, n_T}$$

Donde:

τ_r = esfuerzo admisible del tornillo a cortadura, que no deberá ser mayor al de cortadura del material dividido para 1,57 (factor de seguridad mínimo),
P = presión lateral,
d_e = diámetro exterior del silo,
S_T = sección del tornillo,
d_n = diámetro del núcleo del tornillo,
n_T = número de tornillos.

APENDICE Z

Z.1 NORMAS A CONSULTAR

Código Ecuatoriano de la Construcción, 1979.
Código de práctica sobre protección de edificios contra incendios. Parte VIII. Instalaciones eléctricas.
Guía de práctica para instalaciones pequeñas de combustibles líquidos.
Código de práctica para seguridad en soldadura y *corte térmico.*
INEN 439. *Colores, señales* y *símbolos de seguridad.*
INEN 672. *Recubrimientos por inmersión de zinc sobre acero. Requisitos.*
INEN 715. *Prevención de incendios. Requisitos básicos de seguridad para prevención sistemática de explosiones.*
INEN 735. *Prevención de incendios. Requisitos para instalaciones de gas licuado de petróleo (GLP).*
INEN 746. *Prevención de incendios. Requisitos básicos para control de electricidad estática.*
INEN 754. *Prevención de incendios. Puertas cortafuego. Requisitos generales.*
INEN 801. *Extintores portátiles. Requisitos generales.*
INEN 878. *Rótulos, placas rectangulares* y *cuadradas. Dimensiones.*
INEN 1 166. *Tornillería. Tornillos. Requisitos mecánicos.*

Z.2 BASES DE ESTUDIO

BS 5061. *Cylindrical forage tower silos and recommendations for their use.* British Standards Institution. Londres, 1974.

DIN 11622 BLATT 4. *Garfutterbehalter aus Stahl.* Deutsches Institut für Normung. Berlín, 1973.

Juan Ravenet. *Silos.* (3 tomos). Editores Técnicos Asociados. Barcelona, 1978.

M Y A. Reimbert. *Silos, teoría* y *práctica.* Editorial América Lee. Buenos Aires, 1979.

A. Ghali. Circular Storage tanks and silos. Spon Ltda.. Londres, 1979.

ANSI/ACI – 313 – 77. Recommended Practice for design and construction of concrete bins, silos, and bunkers for storing granular materials. 1977.